

Ab

# PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number : 2002-129273

(43)Date of publication of application : 09.05.2002

---

(51)Int.Cl.

C22C 30/00

C22C 19/00

H01F 1/147

// H02N 10/00

C22K 1:00

---

(21)Application number : 2000-290220

(71)Applicant : ISHIDA KIYOHITO

OIKAWA MASANARI

NATIONAL INSTITUTE OF  
ADVANCED INDUSTRIAL &  
TECHNOLOGY

(22)Date of filing : 25.09.2000

(72)Inventor : OIKAWA MASANARI

LARS WOLF

ISHIDA KIYOHITO

KAINUMA RYOSUKE

MOTOJIMA FUMIHIKO

---

(30)Priority

Priority number : 2000245660 Priority date : 14.08.2000 Priority country : JP

---

(54) FERROMAGNETIC SHAPE MEMORY ALLOY AND ACTUATOR USING THE SAME

(57)Abstract:

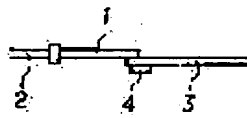
**PROBLEM TO BE SOLVED:** To provide a ferromagnetic shape memory alloy excellent in ductility, having ferromagnetic properties and martensitic transformation, and to provide an actuator using the same.

**SOLUTION:** This ferromagnetic shape memory alloy has a composition containing, by atom, 5 to 70% Co, 5 to 70% Ni and 5 to 50% Al, and the balance inevitable impurities and has a single phase structure composed of a  $\beta$  phase with a B2 structure or a dual phase structure composed of a  $\gamma$  phase with an fcc structure and a  $\beta$  phase with a B2 structure.

(a)



(b)



(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号  
特開2002-129273  
(P2002-129273A)

(43) 公開日 平成14年5月9日 (2002.5.9)

(51) Int.Cl. <sup>7</sup>	識別記号	F I	テーマコード* (参考)
C 2 2 C 30/00		C 2 2 C 30/00	5 E 0 4 1
	19/00	19/00	H
H 0 1 F 1/147		H 0 2 N 10/00	
// H 0 2 N 10/00		C 2 2 K 1:00	
C 2 2 K 1:00		H 0 1 F 1/14	B
審査請求 有 請求項の数11 O L (全 9 頁)			

(21) 出願番号 特願2000-290220 (P2000-290220)  
(22) 出願日 平成12年9月25日 (2000.9.25)  
(31) 優先権主張番号 特願2000-245660 (P2000-245660)  
(32) 優先日 平成12年8月14日 (2000.8.14)  
(33) 優先権主張国 日本 (J P)

(71) 出願人 591149229  
石田 清仁  
宮城県仙台市青葉区上杉3丁目5番20号  
(71) 出願人 599125467  
及川 勝成  
宮城県柴田郡柴田町西船迫4-1-34  
(74) 上記2名の代理人 100099531  
弁理士 小林 英一  
(71) 出願人 301021533  
独立行政法人産業技術総合研究所  
東京都千代田区霞が関1-3-1  
(74) 上記1名の復代理人 100099531  
弁理士 小林 英一

最終頁に続く

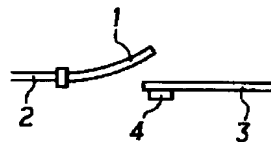
(54) 【発明の名称】 強磁性形状記憶合金およびそれを用いたアクチュエーター

(57) 【要約】

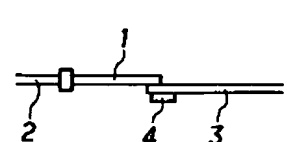
【課題】 延性に優れ、強磁性を有し、かつマルテンサイト変態を生じる強磁性形状記憶合金、およびそれを用いたアクチュエーターを提供する。

【解決手段】 Coを5～70原子%、Niを5～70原子%、Alを5～50原子%含有し、残部が不可避免の不純物からなる組成と、B2構造のβ相からなる単相組織またはfcc構造のγ相とB2構造のβ相からなる2相組織とを有する強磁性形状記憶合金とする。

(a)



(b)



## 【特許請求の範囲】

【請求項1】 Coを5～70原子%、Niを5～70原子%、Alを5～50原子%含有し、残部が不可避免の不純物からなる組成と、B2構造のβ相からなる単相組織またはγ相とB2構造のβ相からなる2相組織とを有することを特徴とする強磁性形状記憶合金。

【請求項2】 前記組成に加えて、Feを0.001～30原子%および/またはMnを0.001～30原子%含有することを特徴とする請求項1に記載の強磁性形状記憶合金。

【請求項3】 前記組成に加えて、Ga、InおよびSiのうちの1種を0.001～50原子%または2種以上を合計0.001～50原子%含有することを特徴とする請求項1または2に記載の強磁性形状記憶合金。

【請求項4】 前記組成に加えて、Bを0.0005～0.01原子%、Mgを0.0005～0.01原子%、Cを0.0005～0.01原子%およびPを0.0005～0.01原子%のうちの1種または2種以上含有することを特徴とする請求項1、2または3に記載の強磁性形状記憶合金。

【請求項5】 前記組成に加えて、Pt、Pd、Au、Ag、Nb、V、Ti、Cr、Zr、Cu、WおよびMoのうちの1種を0.001～10原子%または2種以上を合計0.001～10原子%含有することを特徴とする請求項1、2、3または4に記載の強磁性形状記憶合金。

【請求項6】 前記単相組織が単結晶であることを特徴とする請求項1、2または3に記載の強磁性形状記憶合金。

【請求項7】 前記2相組織のγ相の体積分率が0.01～80体積%の範囲を満足することを特徴とする請求項1、2、3、4または5に記載の強磁性形状記憶合金。

【請求項8】 請求項1、2、3、4、5、6または7に記載の強磁性形状記憶合金からなる部材と、前記部材に対向する位置に配設され前記部材を吸着する磁石とを有することを特徴とするアクチュエーター。

【請求項9】 請求項1、2、3、4、5、6または7に記載の強磁性形状記憶合金からなる部材と、前記部材の一部を加熱する加熱装置と、前記加熱装置によってマルテンサイト変態温度以上に加熱された部分およびマルテンサイト変態温度より低温部分の境界部に生じる透磁率の変化によって前記部材に動力を付与する磁石とを有することを特徴とするアクチュエーター。

【請求項10】 前記加熱装置がレーザービーム発振器であることを特徴とする請求項9に記載のアクチュエーター。

【請求項11】 請求項1、2、3、4、5、6または7に記載の強磁性形状記憶合金からなる部材と、前記部材の透磁率および/または磁化率を測定する測定装置と、前記測定装置の測定値を入力信号として演算処理する演算装置と、前記演算装置からの出力信号に応じて作動する装置とを有することを特徴とするアクチュエーター。

## 【発明の詳細な説明】

## 【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は、延性に優れ、強磁性を有し、かつマルテンサイト変態を生じる強磁性形状記憶合金、およびそれを用いたアクチュエーターに関する。

## 【0002】

【従来の技術】機械構造物を構成する部品のうち、変形、移動あるいは応力を発生する機能性部品はアクチュエーターと呼ばれる。アクチュエーターの材料としては、圧電材料、磁歪材料、電気粘性流体、形状記憶合金等がある。いずれの材料も、アクチュエーターの機能は結晶構造の相変態現象を伴って発現し、物理化学的特性値や力学的エネルギーの変換作用が関わっている。

【0003】アクチュエーター用材料のうち、形状記憶合金は、冷却によるマルテンサイト変態と、加熱によるその逆変態機構を利用するものである。すなわち高温相であるオーステナイト状態で形状を拘束して熱処理することによって合金に形状を記憶させ、低温相であるマルテンサイト状態で変形した後、加熱するとオーステナイトに戻る逆変態を生じて元の形状に戻るのである。

【0004】一般に、冷却時の変態温度よりも加熱時の変態温度の方が高く、その温度差を温度ヒステリシスという。温度ヒステリシスが小さい場合を熱弾性マルテンサイト変態といい、約5%にも及ぶ大きな形状回復歪が得られる。しかし熱弾性マルテンサイト変態を利用する形状記憶合金は、温度変化によって形状記憶効果を発現させるのであるから加熱と冷却が必要であるが、冷却過程は熱放散で律速されるため、形状記憶効果の応答速度が遅い。したがって形状記憶効果を繰り返し発現させるアクチュエーターには利用し難いという問題があった。

【0005】そこで近年、新しいアクチュエーター用材料として強磁性形状記憶合金が注目されている。強磁性形状記憶合金は、温度変化ではなく、外的に磁気エネルギーを付加して、磁気誘起マルテンサイト変態を生じさせ、形状記憶効果の応答性を高めようとするものである。あるいはマルテンサイト相状態で磁場を加えると、双晶の移動で歪みを生じる。この歪みをアクチュエーターとして応用しようとするものである。

【0006】特開平11-269611号公報には、鉄基磁性形状記憶合金およびその製造方法が開示されている。この技術は、Pd含有量が27～32原子%のFe-Pd系合金、あるいはPt含有量が23～30原子%のFe-Pt系合金を基本とする鉄基磁性形状記憶合金に磁気エネルギーを付与して磁気誘起マルテンサイト変態を発現させることによって、形状記憶現象を発現させようとするものである。しかしこの技術では、材料の延性が低いので機械部品として複雑かつ精密な形状を付与するのが困難であり、しかも原料価格が高いため経済的にも不利であった。

【0007】特開平5-311287号公報には、強磁性Cu系形状記憶材料とその製造方法が開示されている。この技術

は、Cu-Al-Mn合金粉末体を加圧して固化成形した後、焼結および加工して、形状記憶現象を電気的スイッチング装置や温度感知センサーに利用しようとするものである。しかしこの技術では、粉末材料を加圧成形して焼結した後、加工するため機械部品として複雑かつ精密な形状を付与するのが困難であった。

【0008】米国特許5,958,154号公報には、Ni-Mn-Ga系合金のアクチュエーター用材料に磁場を付与して形状記憶現象を発現させる技術が開示されている。しかしこの技術では、材料の延性が低いので機械部品として複雑かつ精密な形状を付与するのが困難であり、しかも繰り返し特性が悪いという問題があった。

【0009】

【発明が解決しようとする課題】本発明は上記のような問題を解消し、延性に優れ、強磁性を有し、かつマルテンサイト変態を生じる強磁性形状記憶合金、およびそれを用いたアクチュエーターを提供することを目的とする。

【0010】

【課題を解決するための手段】本発明は、Coを5～70原子%、Niを5～70原子%、Alを5～50原子%含有し、残部が不可避的不純物からなる組成と、B2構造（いわゆるCeCl構造）のβ相からなる単相組織、または延性のあるfcc構造のγ相とB2構造のβ相からなる2相組織とを有する強磁性形状記憶合金である。

【0011】前記した発明においては、第1の好適態様として、前記組成に加えて、Feを0.001～30原子%および/またはMnを0.001～30原子%含有することが好ましい。また第2の好適態様として、前記組成に加えて、Ga、InおよびSiのうちの1種を0.001～50原子%または2種以上を合計0.001～50原子%含有することが好ましい。

【0012】また第3の好適態様として、前記組成に加えて、Bを0.0005～0.01原子%、Mgを0.0005～0.01原子%、Cを0.0005～0.01原子%およびPを0.0005～0.01原子%のうちの1種または2種以上含有することが好ましい。また第4の好適態様として、前記組成に加えて、Pt、Pd、Au、Ag、Nb、V、Ti、Cr、Zr、Cu、WおよびMoのうちの1種を0.001～10原子%または2種以上を合計0.001～10原子%含有することが好ましい。

【0013】また第5の好適態様として、前記単相組織が単結晶であることが好ましい。また第6の好適態様として、前記2相組織のγ相の体積分率が0.01～80体積%の範囲を満足することが好ましい。また本発明は、前記した強磁性形状記憶合金からなる部材と、その部材に対向する位置に配設され部材を吸着する磁石とを有するアクチュエーターである。

【0014】また本発明は、前記した強磁性形状記憶合金からなる部材と、その部材の一部を加熱する加熱装置と、加熱装置によってマルテンサイト変態温度以上に加

熱された部分とマルテンサイト変態温度より低温部分の境界部に生じる透磁率の変化によって部材に動力を付与する磁石とを有するアクチュエーターである。前記した発明においては、好適態様として、加熱装置がレーザービーム発振器であることが好ましい。

【0015】また本発明は、前記した強磁性形状記憶合金からなる部材と、その部材の透磁率および/または磁化率を測定する測定装置と、測定装置の測定値を入力信号として演算処理する演算装置と、演算装置からの出力信号に応じて作動する装置とを有するアクチュエーターである。

【0016】

【発明の実施の形態】まず本発明の強磁性形状記憶合金の組成について説明する。本発明の強磁性形状記憶合金は、Coを5～70原子%、Niを5～70原子%、Alを5～50原子%含有し、残部が不可避的不純物からなる。さらにFeを0.001～30原子%、Mnを0.001～30原子%、Gaを0.001～50原子%、Inを0.001～50原子%、Siを0.001～50原子%、Bを0.0005～0.01原子%、Mgを0.0005～0.01原子%、Cを0.0005～0.01原子%、Pを0.0005～0.01原子%含有することが好ましい。また、Pt、Pd、Au、Ag、Nb、V、Ti、Cr、Zr、Cu、WおよびMoのうちの1種を0.001～10原子%または2種以上を合計0.001～10原子%含有することが好ましい。

【0017】Coは、NiやAlとともに形状記憶特性および磁気特性を向上させる元素である。しかし、Co含有量が5原子%未満では強磁性を消失する。また、Co含有量が70原子%を超えると形状記憶効果は発現しない。したがって、Co含有量は5～70原子%の範囲を満足する必要がある。Niは、CoやAlとともに形状記憶特性を向上させる元素である。しかし、Ni含有量が5原子%未満またはNi含有量が70原子%を超えると形状記憶効果は発現しない。したがって、Ni含有量は5～70原子%の範囲を満足する必要がある。

【0018】Alは、CoやNiとともに形状記憶特性および磁気特性を向上させる元素である。しかし、Al含有量が5原子%未満またはAl含有量が50原子%を超えると形状記憶効果は発現しない。したがって、Al含有量は5～50原子%の範囲を満足する必要がある。Feは、B2構造（いわゆるCeCl構造）のβ相の存在領域を広げる元素であり、またB2構造のβ相を主とする基底組織がマルテンサイト変態を生じる温度（以下、マルテンサイト変態温度という）および磁気特性が常磁性から強磁性に転移する温度（以下、キュリー温度という）を変化させる元素である。しかし、Fe含有量が0.001原子%未満ではB2構造のβ相の存在領域を広げる効果が発揮されない。また、Fe含有量が30原子%を超えるとB2構造のβ相の存在領域を広げる効果が飽和する。したがって、Fe含有量は0.001～30原子%の範囲を満足するのが好ましい。

【0019】Mnは、B2構造のβ相の生成を促進する元

素であり、またマルテンサイト変態温度およびキュリー温度を変化させる元素である。しかし、Mn含有量が0.01原子%未満ではB2構造の $\beta$ 相の存在領域を広げる効果が発揮されない。また、Mn含有量が30原子%を超えるとB2構造の $\beta$ 相の存在領域を広げる効果が飽和する。したがって、Mn含有量は0.001~30原子%の範囲を満足するのが好ましい。

【0020】Gaは、InやSiとともに、マルテンサイト変態温度およびキュリー温度を変化させる元素であり、InとSiとの相乗効果によって、マルテンサイト変態温度およびキュリー温度を-200 ~ 200℃の範囲で自在に制御できる。しかし、Ga含有量が0.001原子%未満ではマルテンサイト変態温度およびキュリー温度の制御効果が発揮されない。また、Ga含有量が50原子%を超えてもマルテンサイト変態温度およびキュリー温度の制御効果が発揮されない。したがって、Ga含有量は0.001~50原子%の範囲を満足するのが好ましい。

【0021】Inは、GaやSiとともに、マルテンサイト変態温度およびキュリー温度を変化させる元素であり、GaとSiとの相乗効果によって、マルテンサイト変態温度およびキュリー温度を-200 ~ 200℃の範囲で自在に制御できる。しかし、In含有量が0.001原子%未満ではマルテンサイト変態温度およびキュリー温度の制御効果が発揮されない。また、In含有量が50原子%を超えてもマルテンサイト変態温度およびキュリー温度の制御効果が発揮されない。したがって、In含有量は0.001~50原子%の範囲を満足するのが好ましい。

【0022】Siは、GaやInとともに、マルテンサイト変態温度およびキュリー温度を変化させる元素であり、GaとInとの相乗効果によって、マルテンサイト変態温度およびキュリー温度を-200 ~ 200℃の範囲で自在に制御できる。しかし、Si含有量が0.001原子%未満ではマルテンサイト変態温度およびキュリー温度の制御効果が発揮されない。また、Si含有量が50原子%を超えてもマルテンサイト変態温度およびキュリー温度の制御効果が発揮されない。したがって、Si含有量は0.001~50原子%の範囲を満足するのが好ましい。

【0023】Bは、Mg、CやPとともに、組織を微細化し、材料の延性および形状記憶特性を向上させる元素である。しかし、B含有量が0.0005原子%未満では組織の微細化および材料の延性向上の効果が発揮されない。また、B含有量が0.01原子%を超えると微細化および延性向上の効果が飽和する。したがって、B含有量は0.0005~0.01原子%の範囲を満足するのが好ましい。

【0024】Mgは、B、CやPとともに、組織を微細化し、材料の延性および形状記憶特性を向上させる元素である。しかし、Mg含有量が0.0005原子%未満では組織の微細化および延性向上の効果が発揮されない。また、Mg含有量が0.01原子%を超えると微細化および延性向上の効果が飽和する。したがって、Mg含有量は0.0005~0.01

原子%の範囲を満足するのが好ましい。

【0025】Cは、B、MgやPとともに、組織を微細化し、材料の延性および形状記憶特性を向上させる元素である。しかし、C含有量が0.0005原子%未満では組織の微細化および材料の延性向上の効果が発揮されない。また、C含有量が0.01原子%を超えると微細化および延性向上の効果が飽和する。したがって、C含有量は0.0005~0.01原子%の範囲を満足するのが好ましい。

【0026】Pは、B、MgやCとともに、組織を微細化し、材料の延性および形状記憶特性を向上させる元素である。しかし、P含有量が0.0005原子%未満では組織の微細化および材料の延性向上の効果が発揮されない。また、P含有量が0.01原子%を超えると微細化および延性向上の効果が飽和する。したがって、P含有量は0.0005~0.01原子%の範囲を満足するのが好ましい。

【0027】Pt, Pd, Au, Ag, Nb, V, Ti, Cr, Zr, Cu, WおよびMoは、いずれもマルテンサイト変態温度やキュリー温度を変化させるだけでなく、組織を微細化し、材料の延性を向上させる元素である。しかし、これらの元素が0.001原子%未満では組織の微細化および材料の延性向上の効果が発揮されない。また、これらの元素が10原子%を超えると微細化および延性の向上効果が飽和する。したがって、これらの元素を1種添加する場合は、その含有量は0.001~10原子%の範囲を満足し、2種以上添加する場合は、その含有量は合計0.001~10原子%の範囲を満足するのが好ましい。

【0028】次に本発明の強磁性形状記憶合金の組織について説明する。本発明の強磁性形状記憶合金は、B2構造（いわゆるCeCl構造）の $\beta$ 相からなる単相組織を有するか、またはfcc構造の $\gamma$ 相とB2構造の $\beta$ 相からなる2相組織を有する。単相組織を有する場合は、単結晶であっても良いし、あるいは多結晶であっても良い。ただし単結晶の方が、形状記憶特性や磁気特性が優れているので好ましい。本発明においては、単結晶を得る方法は特定の方法に限定せず、チョクラスキー法等の従来から知られている方法を用いれば良い。

【0029】2相組織は、単相組織に比べて延性、形状記憶特性および磁気特性が著しく向上するので一層好ましい。ただし $\gamma$ 相の体積分率が0.01体積%未満では形状記憶特性や磁気特性の向上効果が発揮されない。また、 $\gamma$ 相の体積分率が80体積%を超えると形状記憶特性や磁気特性の向上効果が飽和する。したがって、 $\gamma$ 相の体積分率は0.01~80体積%の範囲を満足するのが好ましい。

【0030】本発明の強磁性形状記憶合金を製造する場合は、溶湯を凝固させて500~1400℃で熱処理を行なった後、焼入れを行なう。こうして $\beta$ 相と $\gamma$ 相との2相組織が得られるので、その後、所定の形状に加工する際に優れた延性を発揮するのである。焼入れした後、さらに冷間圧延または熱間圧延を行なって板材とした後、所定の形状に加工し、500~1400℃で再結晶熱処理を行なう

ことによって、形状記憶機能を付与されたB2構造の $\beta$ 相からなる単相組織の強磁性形状記憶合金が得られる。

【0031】この単相組織の強磁性形状記憶合金を、さらに500~1400℃で熱処理して $\beta$ 相の結晶粒界に $\gamma$ 相を優先的に析出させることによって、形状記憶機能を付与されたB2構造の $\beta$ 相と延性に優れたfcc構造の $\gamma$ 相からなる2相組織の強磁性形状記憶合金が得られる。次に、本発明の強磁性形状記憶合金が一部の組成では、マルテンサイト相では強磁性を有し、オーステナイト相では常磁性である。そのことを利用して、種々の機能を発揮するアクチュエーターについて説明する。 $\beta$ 相の組成は、Al含有量が27~32原子%、Ni含有量が35~38原子%であることが好ましい。

【0032】本発明のアクチュエーターは、本発明の強磁性形状記憶合金からなる部材（以下、形状記憶部材という）と、その形状記憶部材が $\beta$ 相で強磁性を有する状態にあるときに吸着する磁石とを有する。つまり、形状記憶部材が、マルテンサイト変態温度より低い温度（すなわちマルテンサイト相の状態）のときに磁石に吸着され、マルテンサイト温度より高い温度（すなわちオーステナイト相の状態）のときに磁石から離脱することによって機能を発揮する。

【0033】たとえば図1に形状記憶部材1と磁石4とを有するアクチュエーターの例を示す。図1(a)に示すような形状を記憶させた形状記憶部材1を、導線2の先端に取り付ける。他方の導線3の先端には磁石4を装着する。図1(a)の状態では形状記憶部材1の温度がマルテンサイト変態温度より低下すると、形状記憶部材1は強磁性を有するマルテンサイト相となり、磁石4に吸着される。図1(b)は、形状記憶部材1が磁石4に吸着された状態を示す。図1(b)の状態では導線2から3へ（あるいは導線3から2へ）通電すると、形状記憶部材1の温度が上昇する。形状記憶部材1の温度がマルテンサイト変態温度より上昇すると、形状記憶部材1は常磁性のオーステナイト相となり、磁石4から離脱する。こうして温度の変化によって電流をオンオフできるスイッチとして機能する。

【0034】なお図1には、マルテンサイト変態温度より低い温度で電流を流し、高い温度で電流を遮断する例について示したが、磁石4の配置を変更すれば、マルテンサイト変態温度より低い温度で電流を遮断し、高い温度で電流を流すことも可能である。磁石4は、強磁性を有するマルテンサイト相となった形状記憶部材1を吸着するものであるから、永久磁石あるいは電磁石、どちらでも使用できる。

【0035】また、形状記憶部材1と磁石4とを有するアクチュエーターの他の例を図2に示す。図2(a)に示すような形状を記憶させた形状記憶部材1と磁石4とを配管5内に配設し、配管5内に流体6を流す。図2(a)の状態では形状記憶部材1の温度がマルテンサイト変態温

度より低下すると、形状記憶部材1は強磁性を有するマルテンサイト相となり、磁石4に吸着される。図2(b)は、形状記憶部材1が磁石4に吸着された状態を示す。図2(b)の状態では形状記憶部材1の温度がマルテンサイト変態温度より上昇すると、形状記憶部材1は常磁性のオーステナイト相となり、磁石4から離脱する。その結果、形状記憶部材1は、図2(a)に示す状態になる。こうして温度の変化によって流体6を流したり遮断したりできる弁として機能する。

10 【0036】なお図2には、マルテンサイト変態温度より高い温度で流体6を流し、低い温度で流体6を遮断する例について示したが、磁石4の配置を変更すれば、マルテンサイト変態温度より高い温度で流体6を遮断し、低い温度で流体6を流すことも可能である。磁石4は、強磁性を有するマルテンサイト相となった形状記憶部材1を吸着するものであるから、永久磁石あるいは電磁石、どちらでも使用できる。ただし磁石4として永久磁石を使用する場合は、流体6の温度変化によって流体6を流したり遮断したりできる弁として機能する。磁石4として電磁石を使用する場合は、流体6の温度が一定であつても、電磁石に電流を流して温度を変化させることによって流体6を流したり遮断したりできる弁として機能する。

【0037】また弁として機能するアクチュエーターの他の例を図5に示す。図5(a)に示すような形状を記憶させた形状記憶部材1と磁石4とを配管5内に配設し、配管5内に流体6を流す。形状記憶部材1には、図5(c)に平面図を示すように、流通孔14が設けられているが、図5(a)の状態では弁は閉じている。図5(a)の状態では形状記憶部材1の温度がマルテンサイト変態温度より低下すると、形状記憶部材1は強磁性を有するマルテンサイト相となり、磁石4に吸着される。

【0038】図5(b)は、形状記憶部材1が磁石4に吸着された状態を示す。磁石4は支持棒13によって支持されており、支持棒13の間隙を流体6が流通できるので、図5(b)の状態では、形状記憶部材1に設けられた流通孔14を通して流体6が流通できる。図5(b)の状態では形状記憶部材1の温度がマルテンサイト変態温度より上昇すると、形状記憶部材1は常磁性のオーステナイト相となり、磁石4から離脱する。その結果、形状記憶部材1は図5(a)に示す状態になる。こうして温度の変化によって流体6を流したり遮断したりできる弁として機能する。

【0039】なお図5には、マルテンサイト変態温度より低い温度で流体6を流し、高い温度で流体6を遮断する例について示したが、磁石4の配置を変更すれば、マルテンサイト変態温度より低い温度で流体6を遮断し、高い温度で流体6を流すことも可能である。磁石4は、強磁性を有するマルテンサイト相となった形状記憶部材1を吸着するものであるから、永久磁石あるいは電磁石、

どちらでも使用できる。

【0040】ただし磁石4として永久磁石を使用する場合は、流体6の温度変化によって流体6を流したり遮断したりできる弁として機能する。磁石4として電磁石を使用する場合は、流体6の温度が一定であっても、電磁石に電流を流して温度を変化させることによって流体6を流したり遮断したりできる弁として機能する。図5(c)には、形状記憶部材1に流通孔14を6ヶ設ける例を示したが、本発明においては、流通孔14の数は限定しない。流体6の性状(たとえば粘度等)に応じて適宜選択すれば良い。

【0041】また本発明の他のアクチュエーターは、形状記憶部材と、その形状記憶部材の一部を加熱する加熱装置と、加熱装置によってマルテンサイト変態温度以上に加熱された部分および加熱されない部分(すなわちマルテンサイト変態温度より低温部分)の境界部に生じる透磁率の変化によって形状記憶部材に動力を付与する磁石を有する。つまり、強磁性を有するマルテンサイト相の状態にある形状記憶部材の一部を加熱して、加熱された部分の温度がマルテンサイト変態温度より高くなる

と、その加熱された部分は常磁性のオーステナイト相となる。こうしてマルテンサイト相とオーステナイト相との境界部の透磁率が変化した部位に磁力を及ぼす位置に磁石を配設することによって、形状記憶部材に動力を付与する動力源として機能する。

【0042】なお加熱装置としてレーザービーム発信器を使用すると加熱温度を精度よく制御でき、しかも限定された領域を加熱できるので好ましい。たとえば図3に示すように、リング状の形状記憶部材1を回転軸10の周りを回転可能に配設し、形状記憶部材1の一部分に磁力を及ぼす位置に磁石4を配設する。磁石4には加熱孔9が設けられ、レーザービーム発信器7から発信されたレーザービーム8が加熱孔9を通して形状記憶部材1を加熱する。形状記憶部材1が加熱されてマルテンサイト変態温度より高くなった部分は常磁性のオーステナイト相であり、その他の部分は強磁性のマルテンサイト相である。こうしてマルテンサイト相とオーステナイト相との境界部に生じる透磁率の変化によって、形状記憶部材1は磁石4から動力を付与され、回転軸10の周りを回転してモーターとして機能する。

【0043】磁石4は、マルテンサイト変態温度以上に加熱された部分(すなわち非磁性母相)とマルテンサイト変態温度より低温部分(すなわち強磁性マルテンサイト相)との境界部に生じる透磁率の変化によって形状記憶部材1に動力を付与するものであるから、永久磁石あるいは電磁石、どちらでも使用できる。また本発明の他のアクチュエーターは、透磁率および/または磁化率の

測定装置を配設する。その測定装置は、形状記憶部材の温度変化や応力によるマルテンサイト変態あるいはその逆変態が生じたときの透磁率や磁化率の変化を測定して演算装置に伝達する。演算装置は、測定装置から伝達された測定値を入力信号として演算処理し、得られた結果を出力信号として、その出力信号に応じて作動する装置に伝達する。

【0044】たとえば、組成を変えることによってマルテンサイト変態温度を変化させた複数種類の形状記憶部材を並設し、各形状記憶部材の透磁率を測定する。並設された形状記憶部材のうち、温度変化や応力に誘起されたマルテンサイト変態あるいはその逆変態によって一部の形状記憶部材の透磁率が変化すると、その透磁率が変化した形状記憶部材を識別して、該当する形状記憶部材のマルテンサイト変態温度を表示する。こうして温度センサーあるいは歪センサーとして機能する。

【0045】

【実施例】表1に示す成分の合金を溶製した後、凝固させて、500~1400℃で熱処理を行ない、さらに焼入れおよび冷間圧延を施した後、所定の大きさの板材を切り出して500~1400℃で再結晶化熱処理を行ない、形状記憶機能を付与された多結晶のβ相(B2構造)の強磁性形状記憶合金を製造した。これを発明例1および発明例2とする。

【0046】発明例3および発明例4は、発明例1、発明例2と同様の方法で多結晶のβ相を生成させた後、さらに歪み焼なましによって単結晶のβ相(B2構造)の強磁性形状記憶合金を製造した例である。発明例5および発明例6は、発明例1、発明例2と同様の方法で多結晶のβ相を生成させた後、さらに500~1350℃で熱処理してβ相の結晶粒界にγ相を析出させて、形状記憶機能を付与されたB2構造のβ相と延性に優れたfcc構造のγ相との2相組織の強磁性形状記憶合金を製造した例である。発明例5のγ相の体積分率は10体積%であり、発明例6のγ相の体積分率は40体積%であった。

【0047】比較例1はCoの含有量が本発明の範囲を外れる例であり、比較例2はNiの含有量が本発明の範囲を外れる例であり、比較例3はAlの含有量が本発明の範囲を外れる例である。比較例1は、発明例1、発明例2と同様の方法で多結晶β相を生成させた。比較例2は、発明例3、発明例4と同様の方法で単結晶β相を生成させた。比較例3は、発明例5、発明例6と同様の方法でγ相とβ相との2相組織を生成させた。比較例3のγ相の体積分率は90体積%であった。

【0048】

【表1】



	組 成 (mass%)										組織	γ相の 体積分率 (体積%)
	Co	Ni	Al	Fe	Mn	Ga	In	Si	B	Cr		
発明例 1	37.5	33.5	29	—	—	—	—	—	—	—	多結晶β相	—
発明例 2	18	37	25	20	—	—	—	—	0.003	—	多結晶β相	—
発明例 3	35	34	28	—	—	3	—	—	—	—	単結晶β相	—
発明例 4	50	20	22	—	—	—	5	3	—	—	単結晶β相	—
発明例 5	39	30.5	26	—	4.5	—	—	—	0.001	—	β相+γ相	10
発明例 6	26	41	23	5	—	—	—	—	—	5	β相+γ相	40
比較例 1	4	59	37	—	—	—	—	—	—	—	多結晶β相	—
比較例 2	54	4	42	—	—	—	—	—	—	—	単結晶β相	—
比較例 3	60	26	4	—	—	5	5	—	—	—	β相+γ相	80

【0049】発明例1～6および比較例1～3について形状記憶特性および磁歪特性を調査した。また冷間圧延率についても調査した。その結果を表2に示す。形状記憶特性は、50mm×5mm×0.3mmの帯状の試験片を切り出し、曲げ試験を行なって5%曲げ歪を加えたときの回復率を測定した。磁歪特性は、単結晶β相である発明例3～4および比較例2については、図1に示すように、寸法5mm×5mm×5mmの試験片を切り出し、(110)面にストレンゲージ2を装着して、強さ30A/mの磁界H

形状記憶特性の回復率 (%)

$$= 100 \times \{ (\varepsilon_d - \varepsilon_r) / \varepsilon_d \} \quad \dots (1)$$

$\varepsilon_d$  : 変形させた後の表面歪み

$\varepsilon_r$  : 回復させた時の表面歪み

$$\text{磁歪特性 (\%)} = 100 \times \{ (L_2 - L_1) / L_1 \} \quad \dots (2)$$

$L_1$  : 磁場印加前の長さ (mm)

$L_2$  : 磁場印加後の長さ (mm)

$$\text{冷間圧延率 (\%)} = 100 \times \{ (t_1 - t_2) / t_1 \} \quad \dots (3)$$

$t_1$  : 冷間圧延前の厚さ (mm)

$t_2$  : 冷間圧延後の厚さ (mm)

【0051】

【表2】

を[001]方向に印加して、歪み量を測定した。β相とγ相との2相組織である発明例5、6および比較例3については、30mm×10mm×1mmの帯状の試験片を用い、圧延方向に平行な向きに磁場を加えたときの圧延方向の歪み量を測定した。

【0050】なお形状記憶特性の回復率 (%) は下記の

(1)式で算出される値であり、磁歪特性 (%) は下記の

(2)式で算出される値であり、冷間圧延率 (%) は下記の

(3)式で算出される値である。

	形状記憶特性	磁歪特性	冷間圧延率
発明例 1	△	△	×
発明例 2	△	△	△
発明例 3	◎	◎	△
発明例 4	◎	◎	△
発明例 5	◎	◎	○
発明例 6	○	○	◎
比較例 1	△	×	×
比較例 2	×	×	×
比較例 3	×	×	◎

形状記憶特性  
 ◎: 回復率 80%以上  
 ○: 回復率 50%以上、80%未満  
 △: 回復率 20%以上、50%未満  
 ×: 回復率 20%未満

磁歪特性  
 ◎: 0.2 %以上  
 ○: 0.1 %以上、0.2 %未満  
 △: 0.01%以上、0.1 %未満  
 ×: 0.01%未満

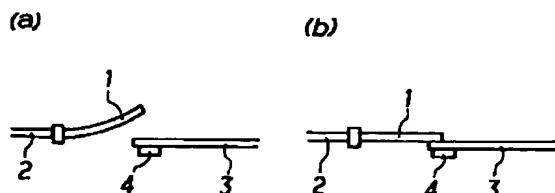
冷間圧延率  
 ◎: 50%以上  
 ○: 30%以上、50%未満  
 △: 5%以上、30%未満  
 ×: 5%未満

【0052】表2から明らかなように、発明例1～6と比較例1～3を比べると、発明例の方が、形状記憶特性の回復率、磁歪特性および冷間圧延率に優れた形状記憶合金を得ることができた。また発明例1～6のうち、単結晶β相の単相組織（発明例3、4）やβ相とγ相との2相組織（発明例5、6）にすることによって、多結晶β相の単相組織（発明例1、2）に比べて、形状記憶特性の回復率、磁歪特性および冷間圧延率が一層優れた強磁性形状記憶合金を得ることができた。

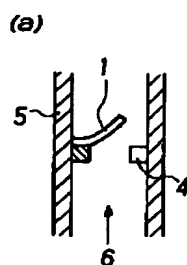
【0053】また、特に加工性能に優れた（すなわち冷間圧延率の高い）発明例6や、形状記憶特性の回復率および磁歪特性に優れた発明例5のように、添加元素の種類と添加量を適切に選択することによって、目的や用途に応じた性能を有する強磁性形状記憶合金を得ることが可能である。

【0054】

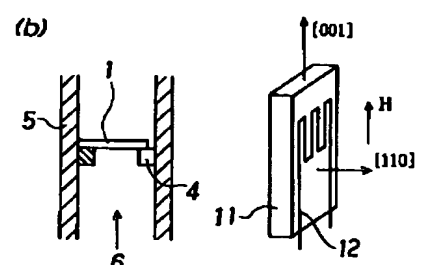
【図1】



【図2】



【図4】



【発明の効果】本発明では、延性に優れ、強磁性を有し、かつマルテンサイト変態を生じる強磁性形状記憶合金を得ることができ、さらにその強磁性形状記憶合金の特性を利用して機能を効果的に発揮するアクチュエーターを製造することができる。

【図面の簡単な説明】

【図1】本発明のアクチュエーターの例を示す配置図であり、(a)は形状記憶部材が磁石から離脱した状態を示す配置図、(b)は形状記憶部材が磁石に吸着された状態を示す配置図である。

【図2】本発明のアクチュエーターの他の例を示す断面図であり、(a)は形状記憶部材が磁石から離脱した状態を示す断面図、(b)は形状記憶部材が磁石に吸着された状態を示す断面図である。

【図3】本発明のアクチュエーターの他の例を示す斜視図である。

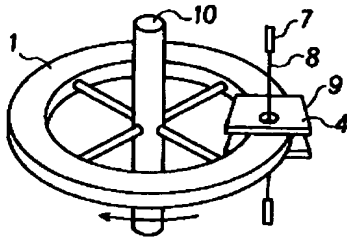
【図4】試験片の方位と磁界の方向を示す斜視図である。

【図5】本発明のアクチュエーターの他の例を示す断面図であり、(a)は形状記憶部材が磁石から離脱した状態を示す断面図、(b)は形状記憶部材が磁石に吸着された状態を示す断面図、(c)は形状記憶部材の平面図である。

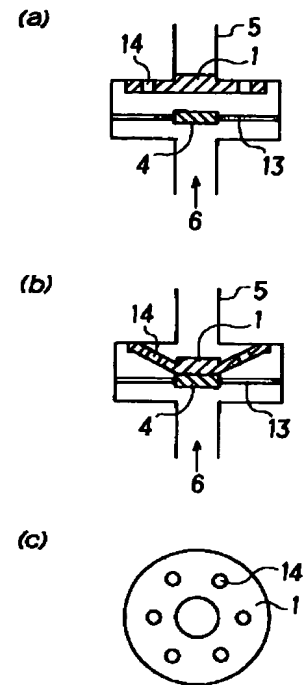
【符号の説明】

- 1 形状記憶部材
- 2 導線
- 3 導線
- 4 磁石
- 5 配管
- 6 流体
- 7 レーザービーム発振器
- 8 レーザービーム
- 9 加熱孔
- 10 回転軸
- 11 試験片
- 12 ストレングージ
- 13 支持棒
- 14 流通孔

【図3】



【図5】



フロントページの続き

(72)発明者 及川 勝成  
宮城県柴田郡柴田町西船迫 4-1-34  
(72)発明者 ラルス ウルフ  
宮城県仙台市青葉区一番町 1-15-41-  
503  
(72)発明者 石田 清仁  
宮城県仙台市青葉区上杉 3-5-20

(72)発明者 貝沼 亮介  
宮城県名取市手倉田字堰根 172-15  
(72)発明者 源島 文彦  
宮城県仙台市青葉区国見 3-11-8 コー  
ポカしの木 102  
Fターム(参考) 5E041 AA14 AA17 AA19 BD05 CA10  
NN17